

Une approche de modélisation individu-centrée pour évaluer la gestion par plante-pièges d'*Helicoverpa zea* en champs de tomate

Isabelle GRECHI

(Cirad, UPR 103 - HortSys)

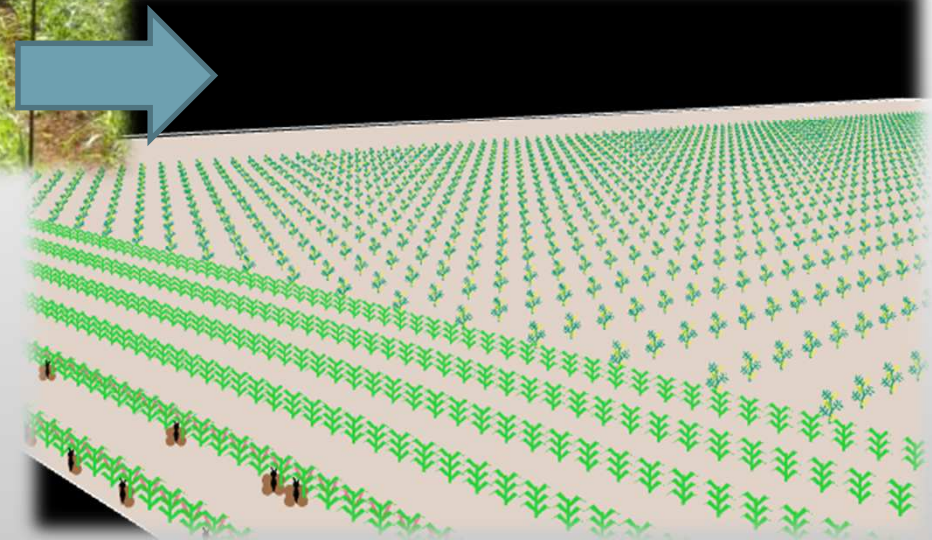
1

*Conférence à l'ISRA, CDH
Dakar, 24 juillet 2013*

1. PRÉSENTATION DE MES ACTIVITÉS & INTRODUCTION À LA MODÉLISATION

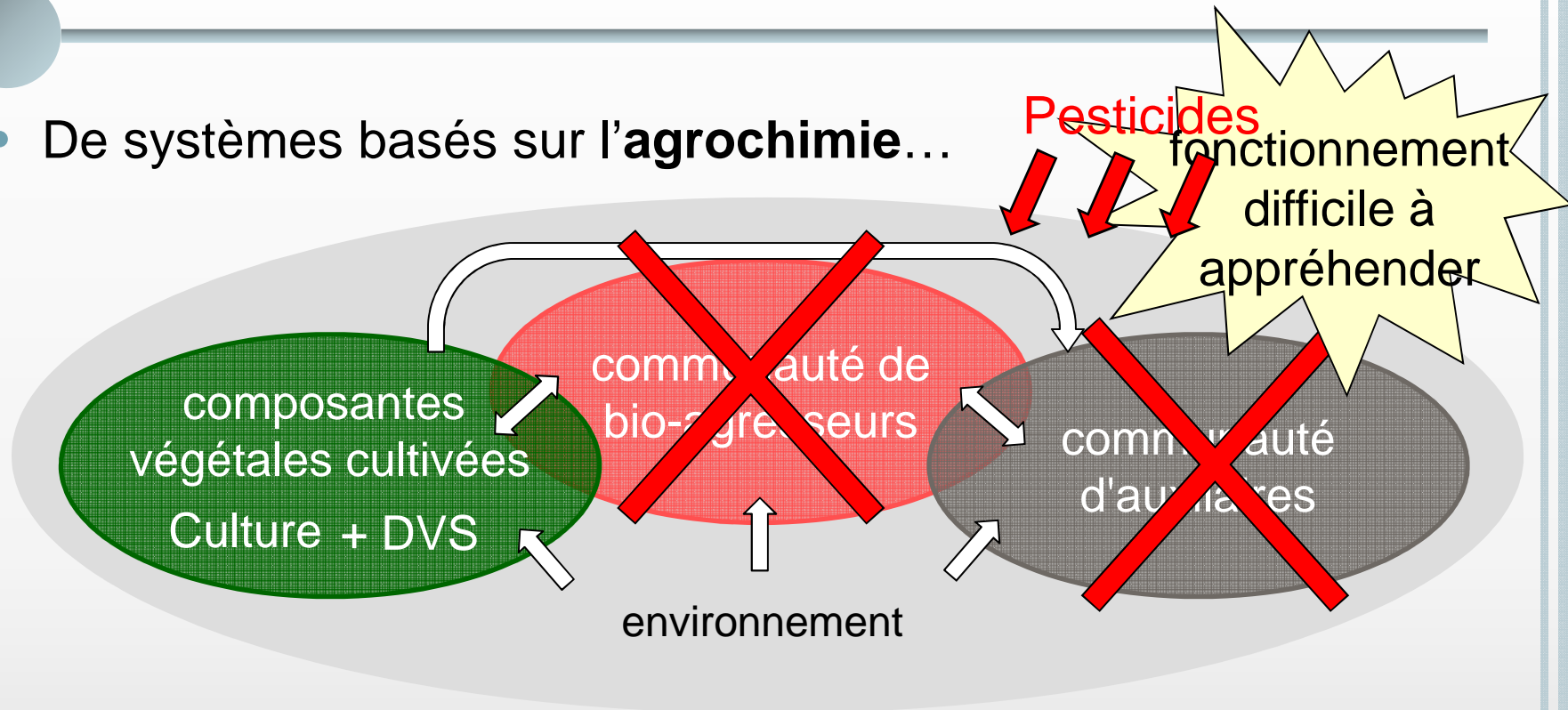


Une représentation simplifiée
du monde réel....



UN OUTIL D'INTÉGRATION ET D'ANALYSE DE SYSTÈMES COMPLEXES

- De systèmes basés sur l'**agrochimie**...



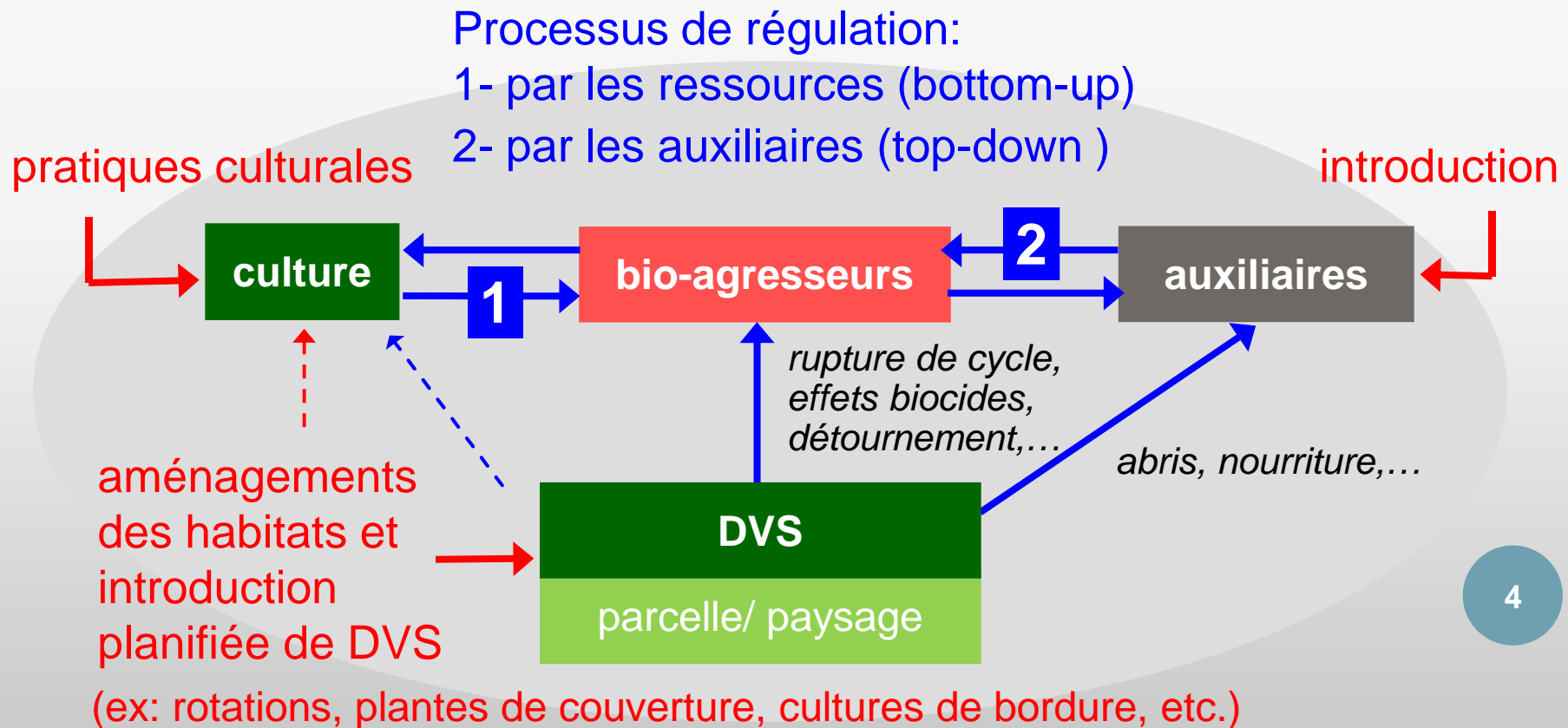
... vers des systèmes basés sur le concept d'**intensification écologique**, qui mobilisent les interactions et régulations biologiques.

- Un cadre méthodologique adapté pour donner une **vision intégrée du fonctionnement du système**

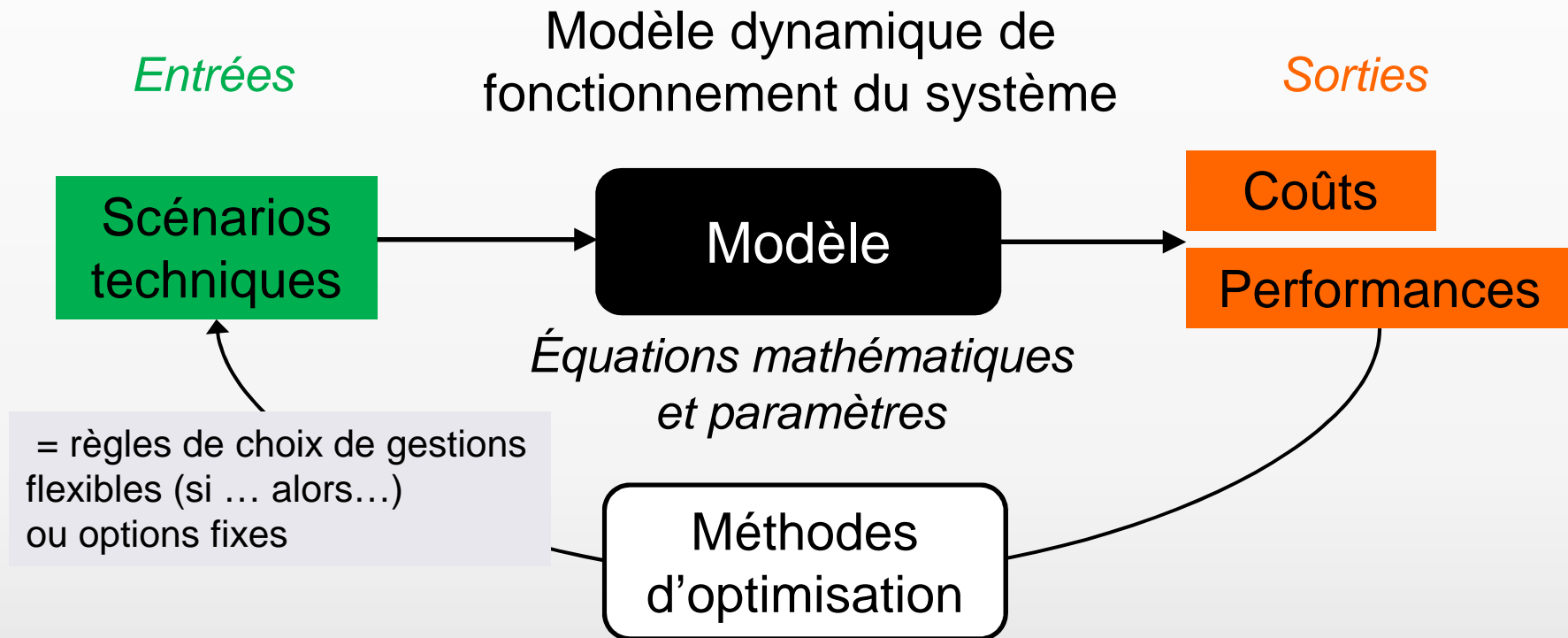
UN OUTIL D'INTÉGRATION ET D'ANALYSE DE SYSTÈMES COMPLEXES

Des modèles qui rendent compte:

- des interactions entre les composantes biologiques
- du pilotage de ces interactions par les pratiques



UN OUTIL DE SIMULATION POUR L'ÉVALUATION ET LA CONCEPTION DE SYSTÈMES



- Un ensemble de performances associé à chaque scénarios
- Le (les) scénario(s) qui optimise(nt) les performances

Evaluer et/ou identifier de scénarios candidats

MES ACTIVITÉS AU CIRAD

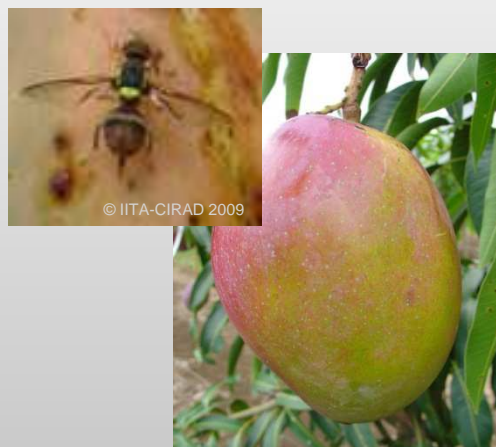
- **Thématique de recherche:**

« Conception et mise en œuvre de modèles de simulation du fonctionnement de systèmes horticoles qui prennent en compte les interactions entre les composantes biologiques, avec l'environnement, et le pilotage par les pratiques »

- **Principaux cas d'étude:**

- (1) **Maraichage :**

tomate – noctuelle *H. zea* (ATP Omega3)



- (1) **Arboriculture :**

manguier – mouche des fruits
(ModQuaL / INRA; appui thèses)

2. PRÉSENTATION DU CAS D'ÉTUDE: RÉGULATION DE LA NOCTUELLE DE LA TOMATE PAR PLANTES PIÈGES



7

B. Rhino (Cirad, UPR 103 - Martinique)
A. Ratnadass (Cirad, UPR 103 - Niger / Montpellier)
Ph. Tixier (Cirad, UPR 26 - Martinique)

CONTEXTE: LE PROJET OMEGA3

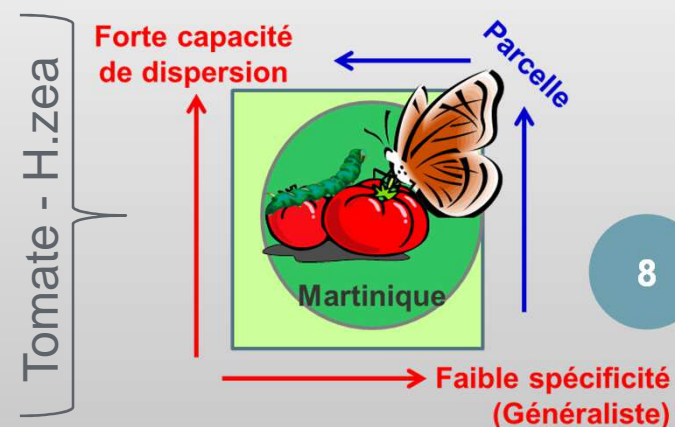


<http://omega3.cirad.fr>

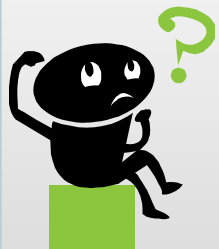
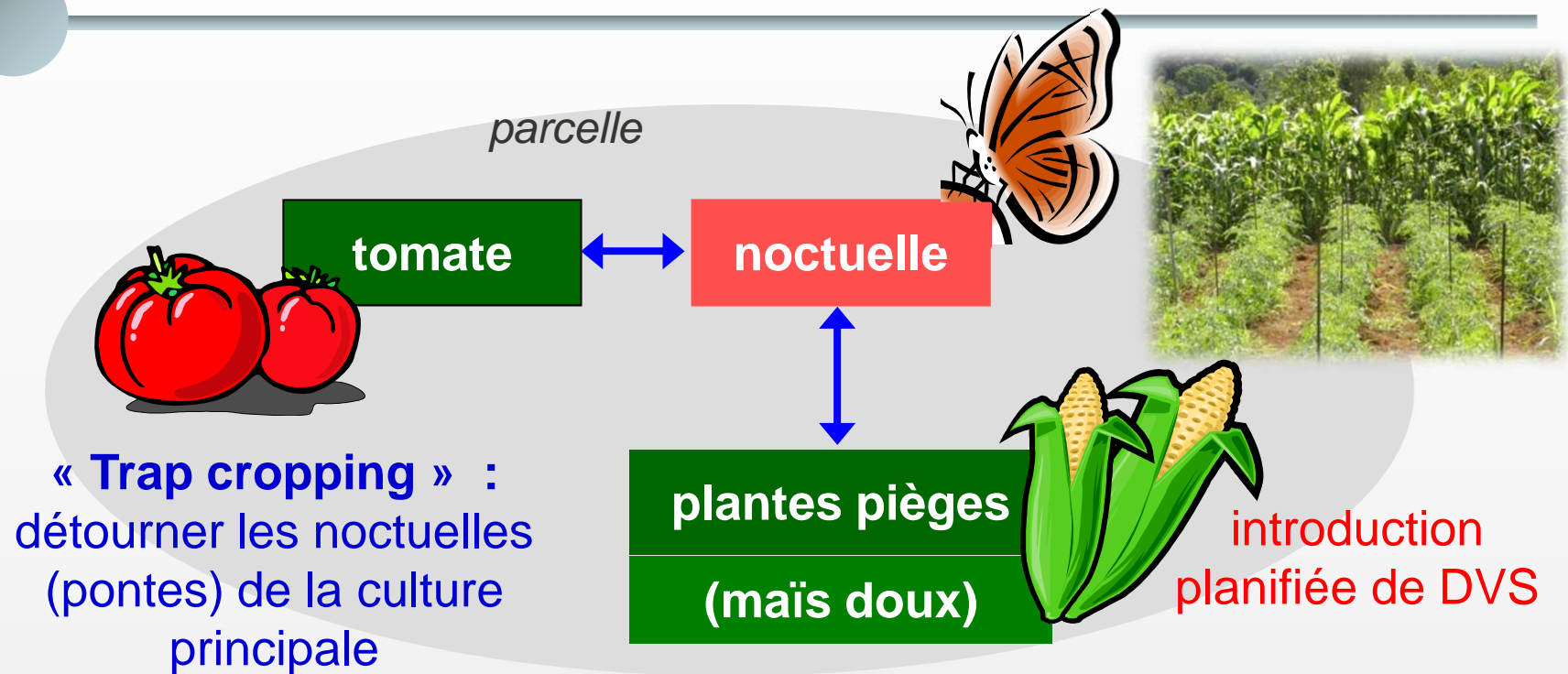
Optimiser les **M**écanismes **E**cologiques de **G**estion des bio-**A**gresseurs pour une **A**mélioration durable de la productivité des **A**grosystèmes

basés sur une introduction planifiée de diversité végétale spécifique (DVS)

- **Approche:** étude de systèmes tropicaux contrastés :
 - **échelle de déploiement** de la DVS
 - **spécificité et capacité de dispersion** des bio-agresseurs



PRÉSENTATION DU CAS D'ÉTUDE



Quel agencement spatial et de la phénologie des plantes pièges pour optimiser la régulation des populations et dégâts de noctuelles de la tomate à l'échelle de la parcelle?

➡ **Approche: modélisation individu-centrée (IBM)**

→ importance donnée au comportement individuel des insectes en lien avec leur environnement pour prédire les dynamiques

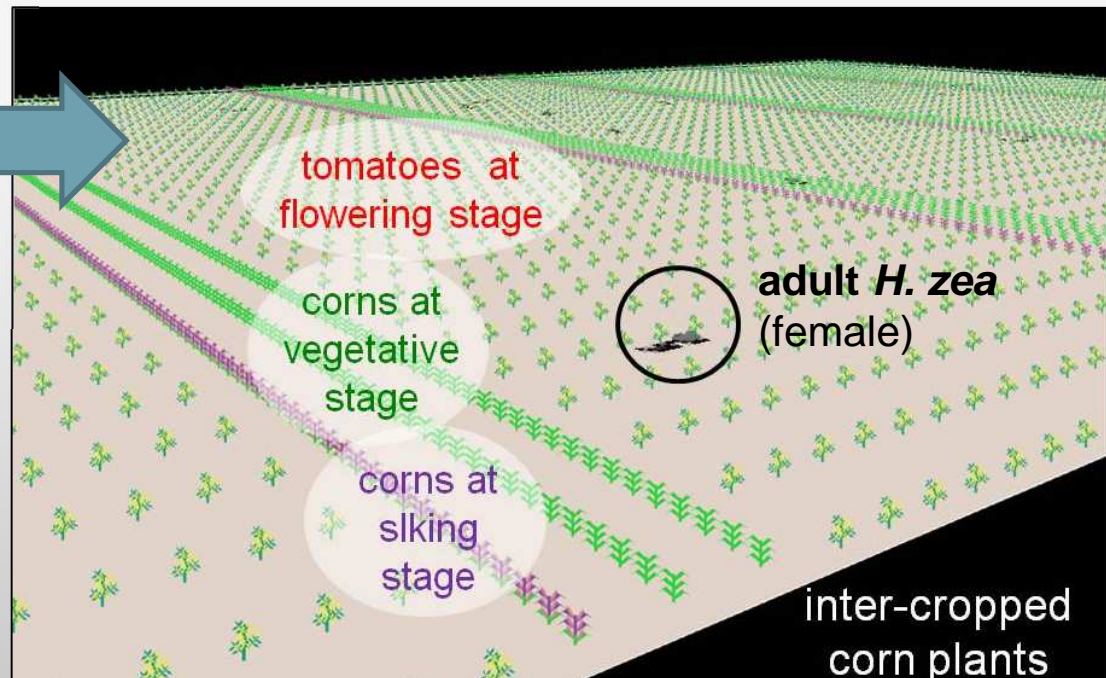
PRÉSENTATION DU MODÈLE

Modèle **dynamique** et **spatialement explicite**, représentant :

- le **déplacement (local)** et le **développement** des **insectes**
- la **phénologie** des **plantes** cultivées et pièges



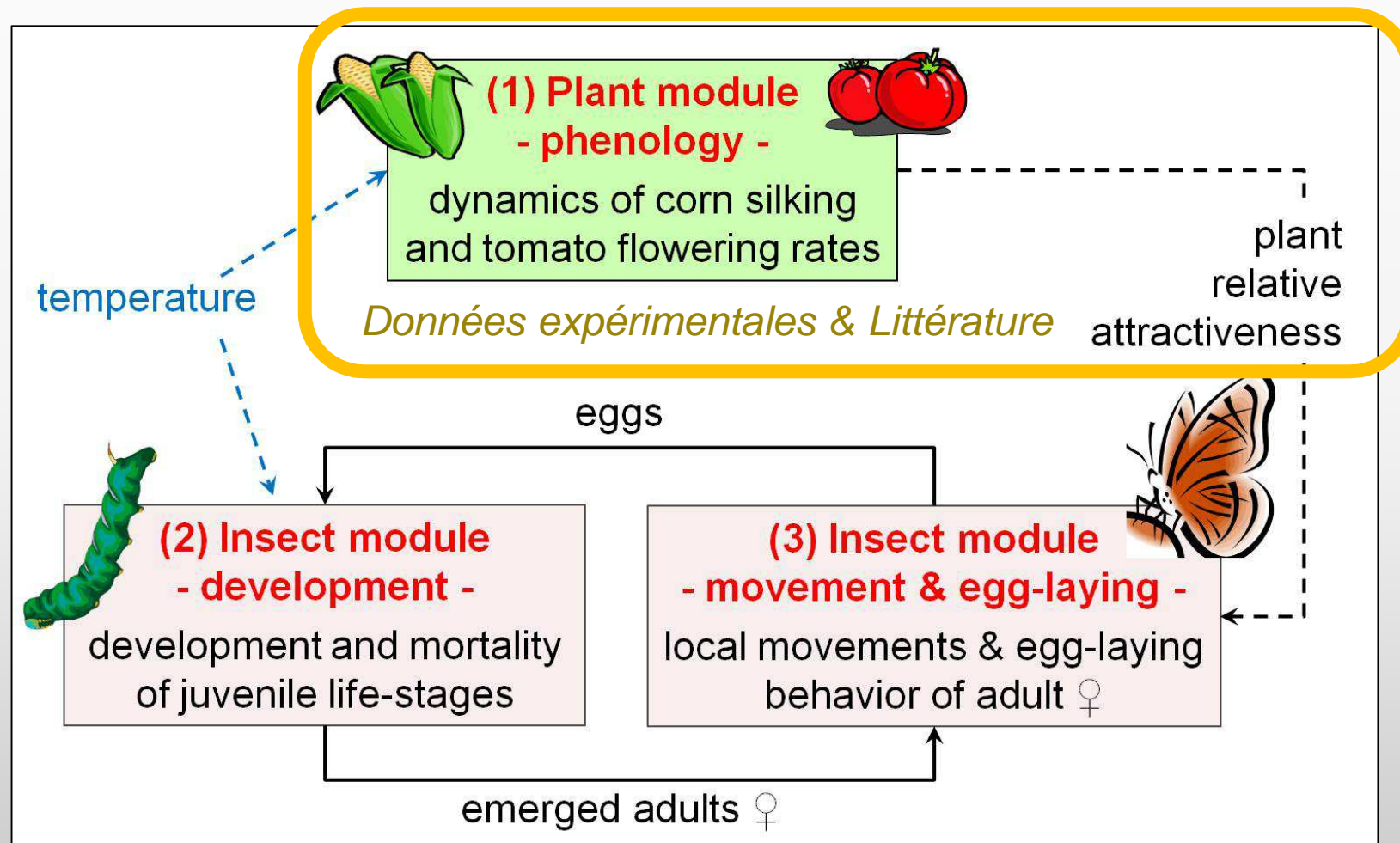
Plateforme de simulation NetLogo



- *Parcelle (<50x50m²) / résolution 1m²*
- *Cycle de production / pas de temps 1j*

PRÉSENTATION DU MODÈLE

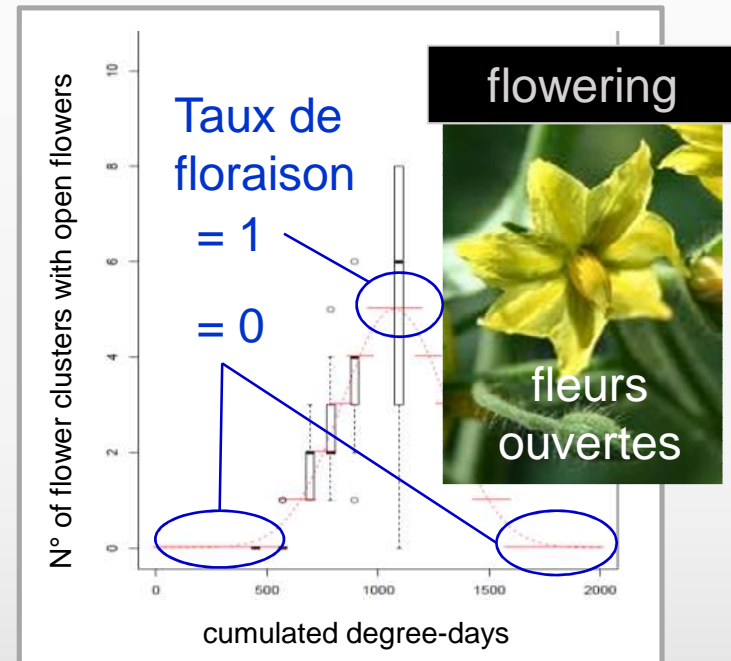
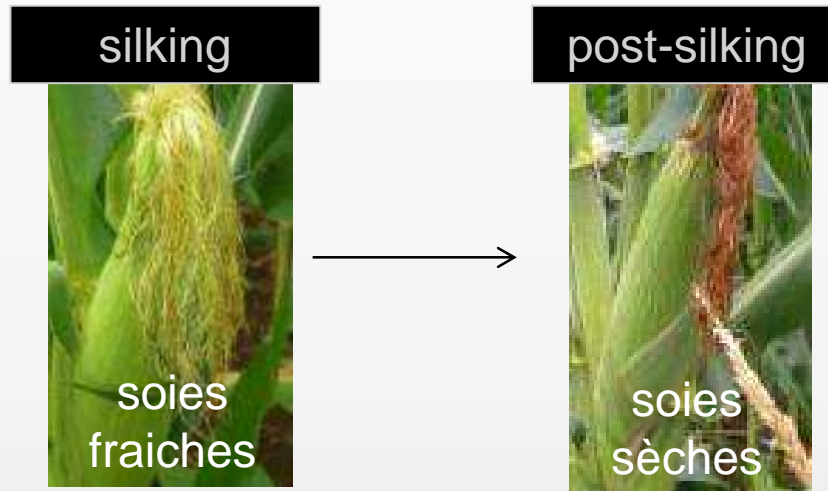
- Le modèle est structuré en **3 modules interactifs**:



(1) Module plante-phénologie-

- **Développement:** succession des stades basée sur une échelle de temps thermique

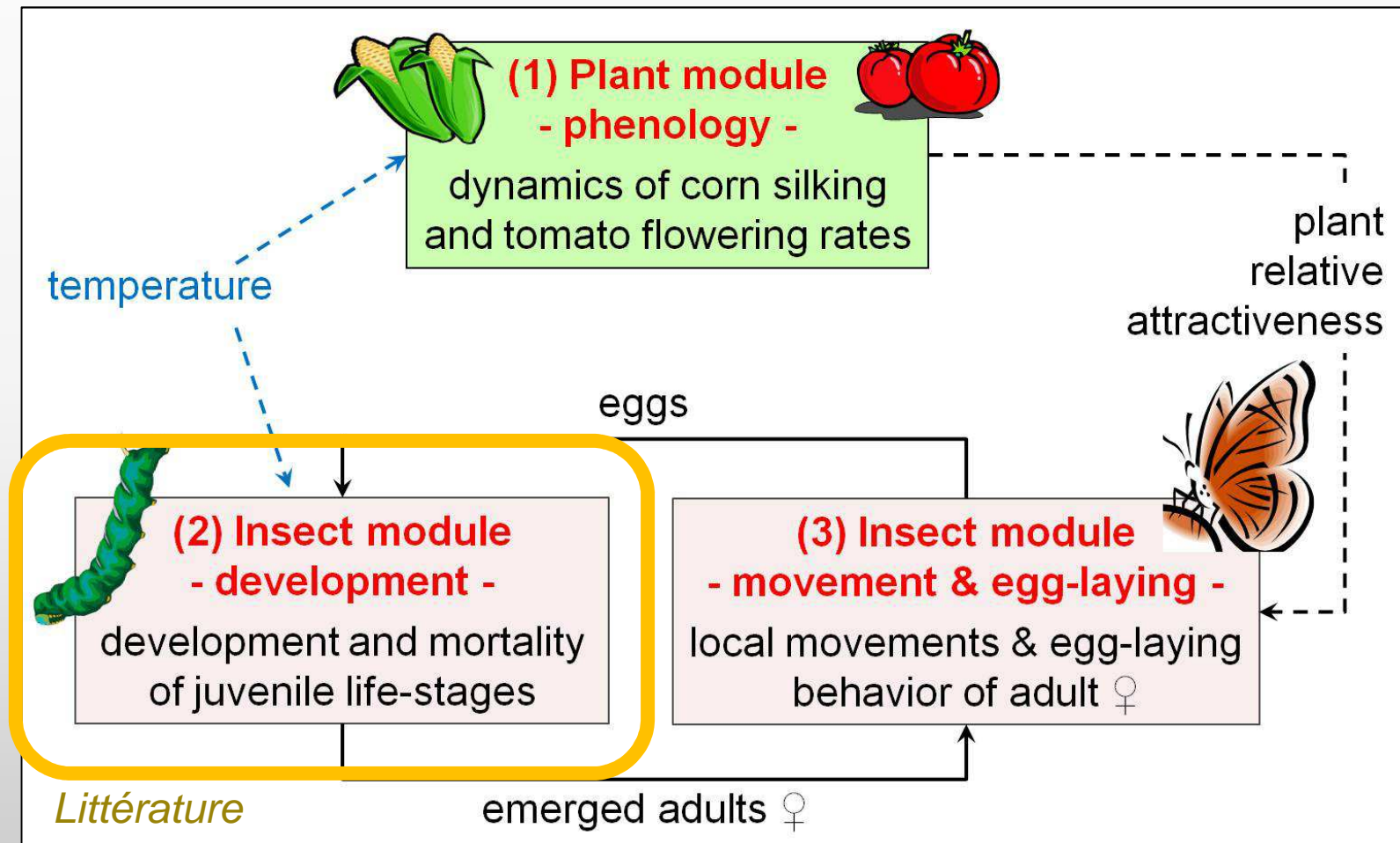
- Tomate: 'vegetatif', '**flowering**', 'post-flowering'
- Maïs: 'vegetatif', '**silking**', 'post-silking'



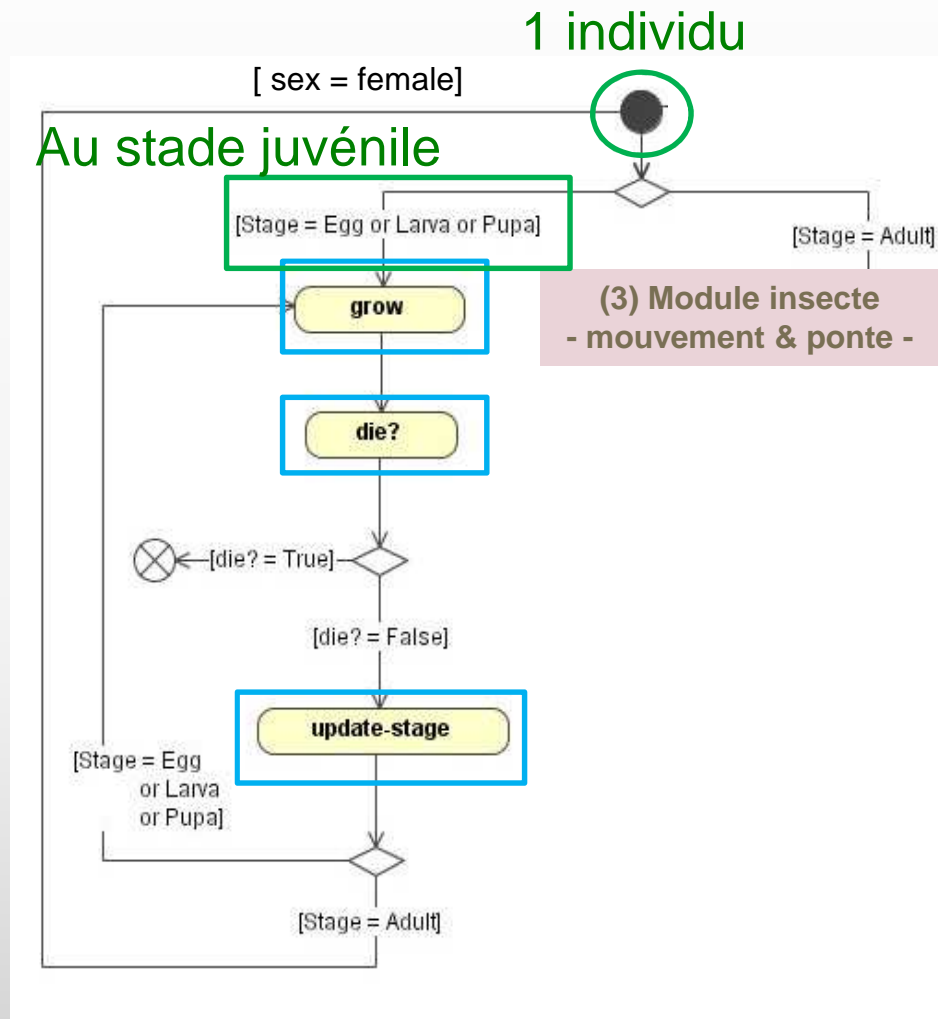
- **Floraison:** taux relatif de floraison ou d'émission de soies fraîches (0-1)
- **Attractivité relative des plantes** (0-1) basée sur des hyp. de préférences de ponte pour les **stades floraux** et le **maïs**:
 - attractivité max. du maïs (au stade 'silking') = 1
 - attractivité max. tomate << attractivité max. maïs ($\alpha_{TC} \ll 1$)

PRÉSENTATION DU MODÈLE

- Le modèle est structuré en **3 modules interactifs**:



(2) Module insecte - développement -

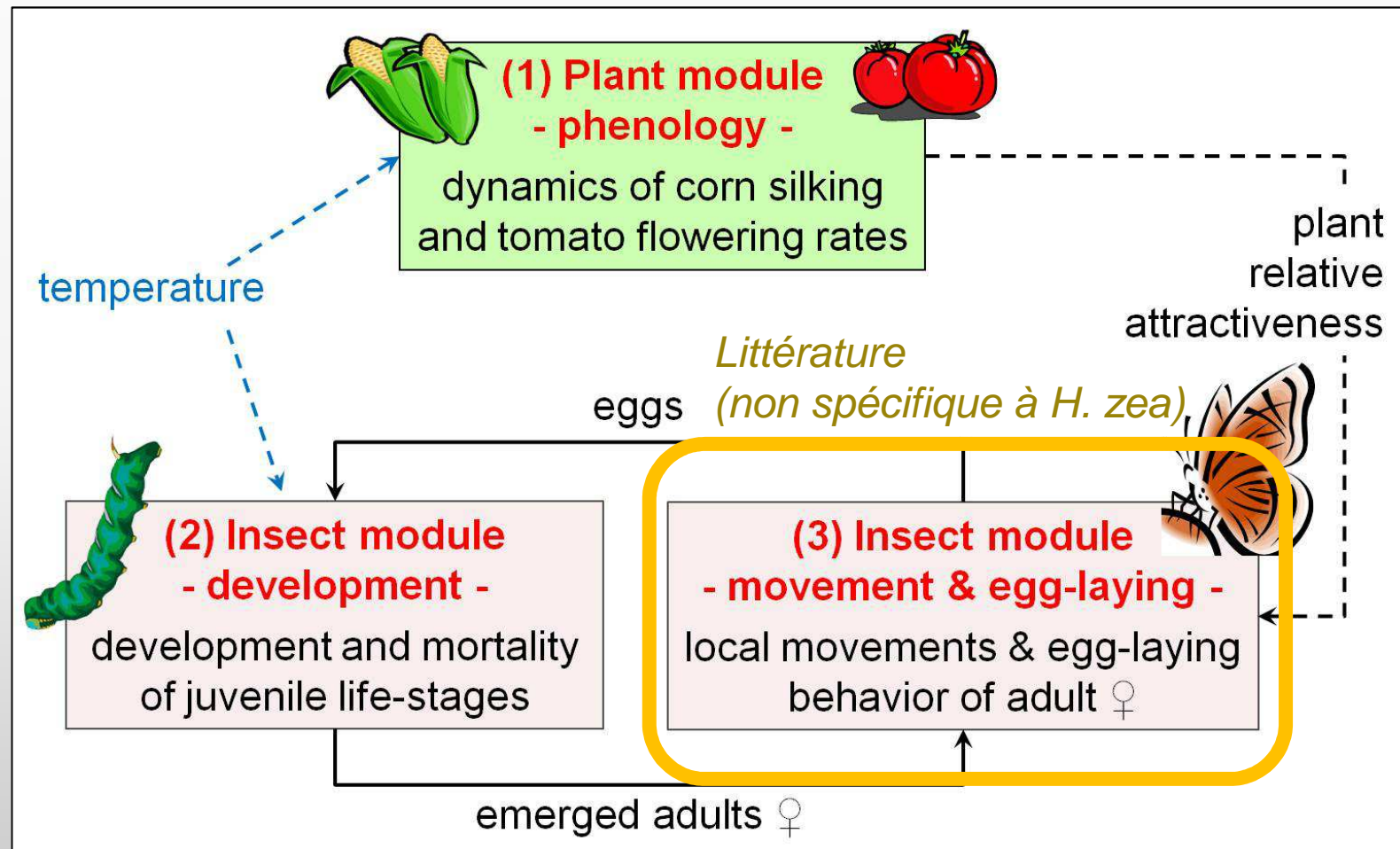


- **Développement:**
succession des stades
basée sur une échelle de
temps thermique
'Egg', 'Larva', 'Pupa', 'Adult'
 - accumulation de degrés-jours
 - changement de stade
- **Mortalité:** taux de mortalité
stade-dépendant
 - + densité-dépendance
(cannibalisme)
 - + effet de l'environnement
sur les EN et la prédation ?

Diagramme d'activité (partie 1) :
Actions accomplies par un insecte chaque jour

PRÉSENTATION DU MODÈLE

- Le modèle est structuré en **3 modules interactifs**:



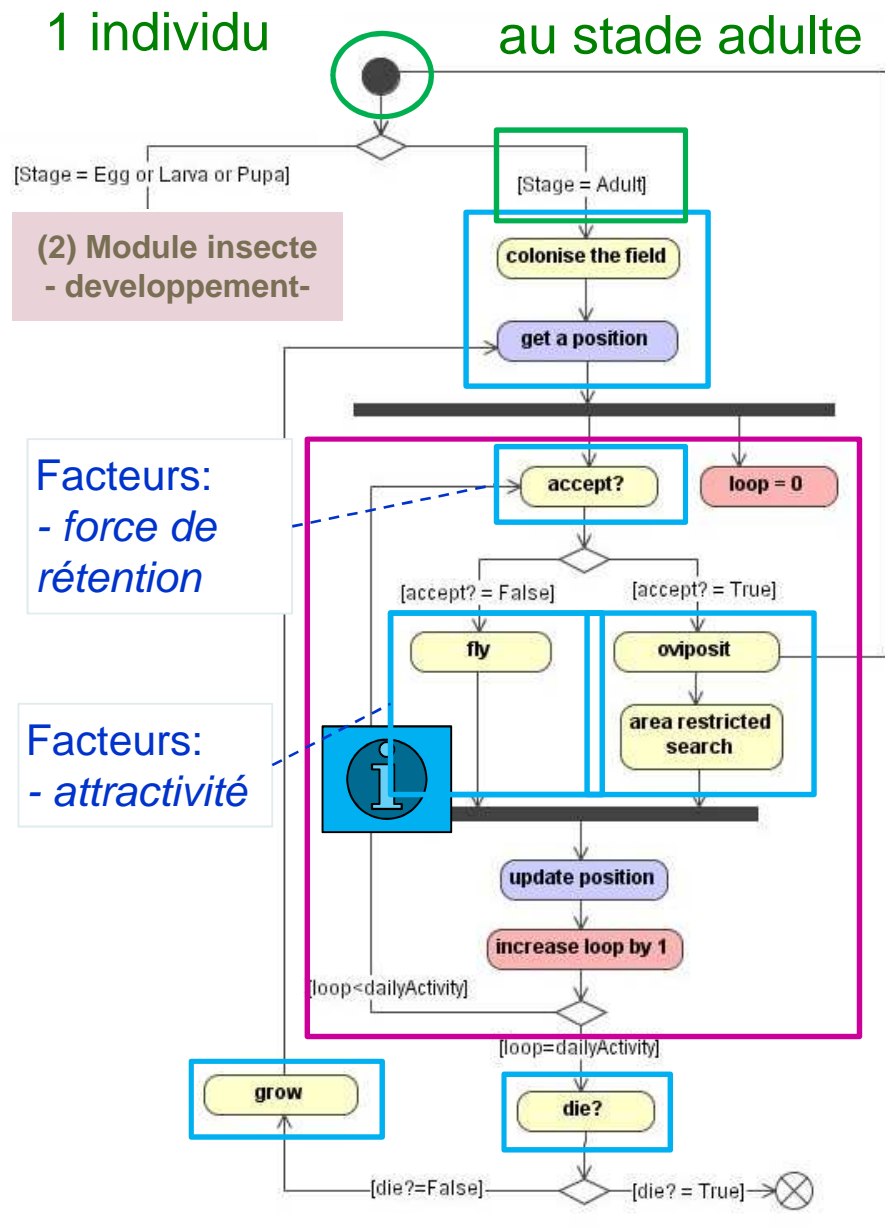


Diagramme d'activité (partie 2) :
Actions accomplies par un insecte chaque jour

(3) Module insecte - mouvement & pontes-

- **Colonisation:** aléatoire
- **Acceptation (ou refus) de la plante** pour pondre
 - **Ponte** & '**Déplacement restreint**' aux plantes voisines
 - **Déplacement par vol** et **Sélection d'une nouvelle plante**
- '**loops**' : visite de n plantes / j
- **Mortalité:** taux de mortalité âge-dépendant
- **Croissance:** âge en jours

(3) Module insecte - mouvement & pontes-

- **Déplacement/Vol:**
 - direction aléatoire
 - pas de limite de capacité de dispersion,
- **Sélection de la plante** (olfactive et/ou visuelle) :
 - dans une **fenêtre de perception** (distance de perception),
 - basée sur **l'attractivité** relative des plantes

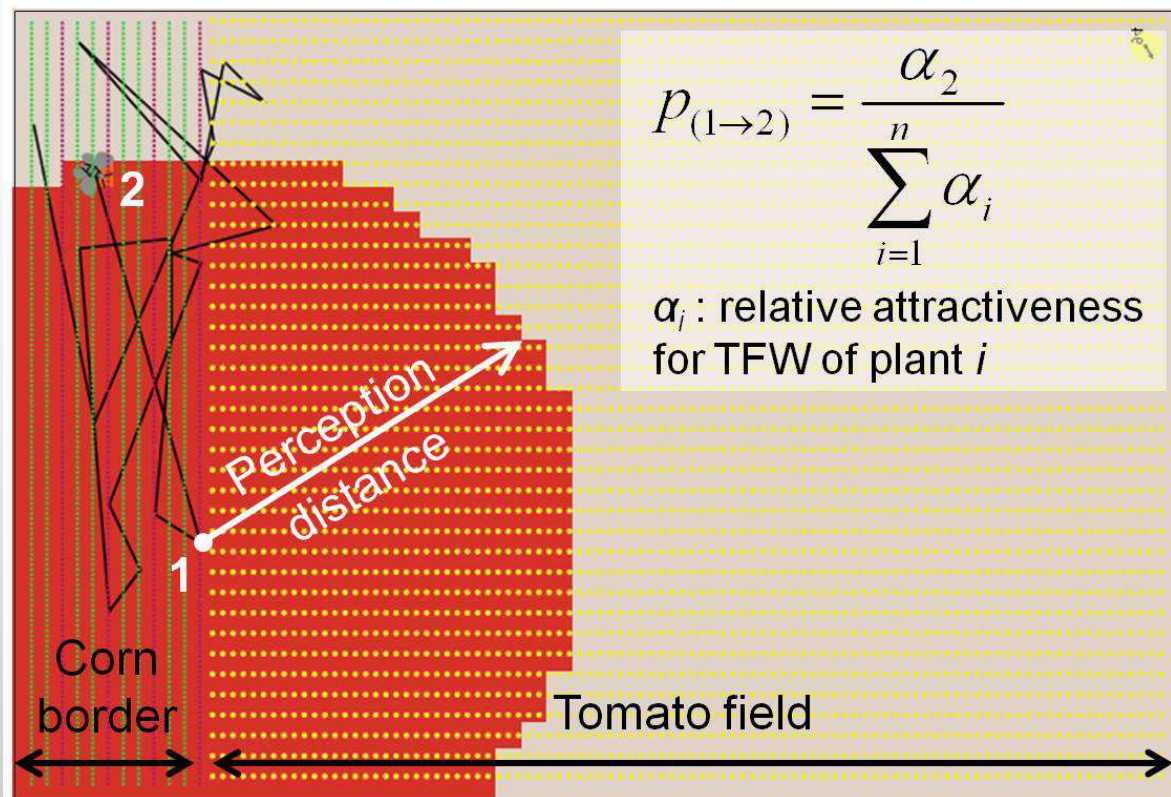


Fig.4. Trajectory example (line) of an adult TFW female in a field, simulated at a daily time-step.

Under an attractiveness-based host-plant selection hypothesis, female in position (1) move to one of the n plants located within its perception area (red area), with the probability $p_{(1 \rightarrow 2)}$ of moving to (2).

INTERFACE DU MODÈLE ET SIMULATIONS

The screenshot displays the TRAPCROP model interface, version 06.1, running in NetLogo. The interface is divided into several sections:

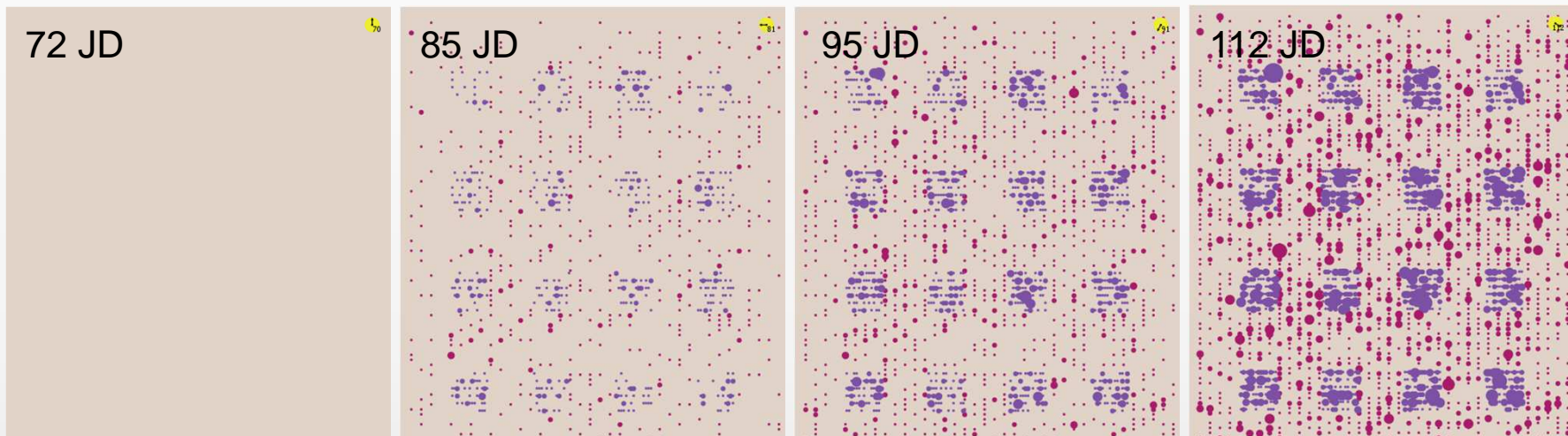
- Interface:** Includes a menu bar (File, Edit, Tools, Zoom, Tabs, Help) and a toolbar with buttons for set-directory, setup, go plant, go once, and go. It also features a view updates checkbox and a settings button.
- Experimental design:** Contains fields for tomato phenological dates (JD), corn phenological dates (JD), corn varieties, corn dates (JD), and tomato dates (JD). A dropdown menu for plotDesign is open, showing options: experiment-1, experiment-2, design B1, design S1, design P1, and design T1.
- Field trap-crop planting design:** Includes a plotDesign dropdown (set to design B1) and a weatherData dropdown (set to 2010).
- Field infestation pattern:** Includes an infest-spatialPattern dropdown (set to random) and an infest-temporalPattern dropdown (set to continuous).
- Plant traits:** Includes an attractiveness slider (set to 0.10) and an alphaDefault slider (set to 0.01).
- Environment:** Includes a predationLevel dropdown (set to high) and a perception-dist slider (set to 10 m).
- Model outputs:** Includes a silking and flowering rate graph, a population of insects graph, and a spatial infestation graph.
- View options:** Includes checkboxes for show-plants?, show-insects?, path-insects?, and show-infestation?.
- Plot options:** Includes a checkbox for show-plot?.
- Output options:** Includes an export-data? dropdown (set to yes-validExperiment) and a monitoring-freq slider (set to 1 days).
- Visualisation de la parcelle:** A large area on the right side of the interface, currently showing a grid pattern.
- Option graphiques et modalités d'exportation des résultats:** A section on the right side of the interface, containing a movie button and an Excel button.
- Graphiques:** A section at the bottom of the interface, containing a Command Center and a status bar.

Annotations in green text with arrows point to specific features:

- Période de simulation:** Points to the simulatingTime and simulatingEndTime sliders.
- Visualisation de la parcelle:** Points to the large grid area on the right.
- Option graphiques et modalités d'exportation des résultats:** Points to the movie and Excel buttons.
- Graphiques:** Points to the Command Center and status bar.

INTERFACE DU MODÈLE ET SIMULATIONS

Exemple de sortie graphique : dynamique du niveau d'infestation cumulé des plantes:



Exemple d'extraction des données et exportation sous excel :

testID	simulation	day	plantID	xcor	ycor	species	eggLayed	eggCum	larvaCum	pupaCum
0	1	112	5142	3.6	42.6	tomatoes	10	21	25	4
0	1	112	4999	10.8	41	tomatoes	10	24	3	0
0	1	112	1754	6.5	40.2	corns	10	31	37	18
...

sortie

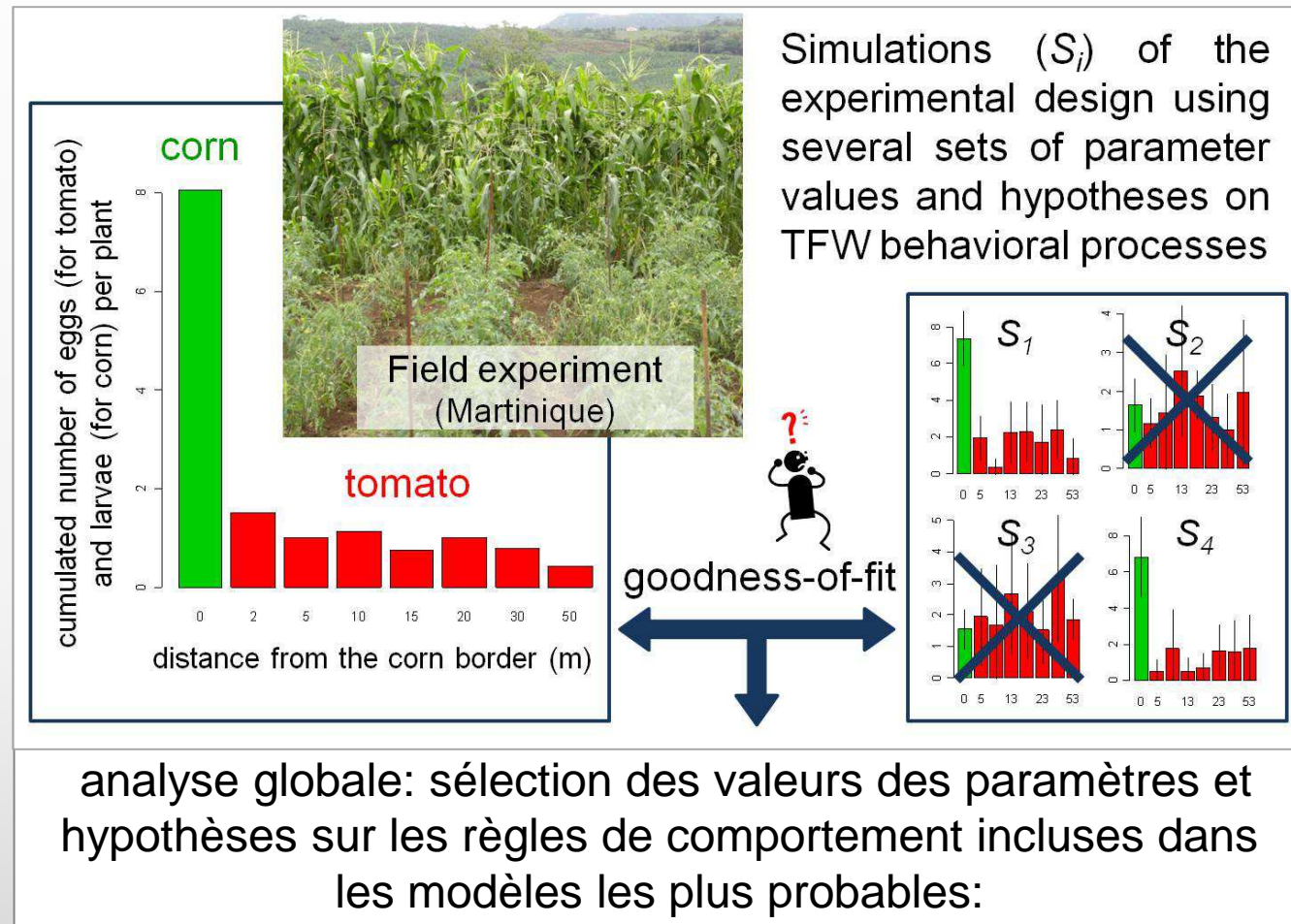
19

testID	PlotDesign	infest-Pattern	infest-start	infest-end	...
0	design P1	random	72	107

entrées

SÉLECTION / VALIDATION DU MODÈLE

- **Validation qualitative du modèle IBM:**
confrontation des données simulées aux données expérimentales



- un niveau de connaissances encore insuffisant...
- des AR expérimentation / modélisation encore nécessaires avant validation complète du modèle

SIMULATIONS & RÉSULTATS

- **Evaluation de la synchronisation entre les stades attractifs de la tomate et du maïs:**

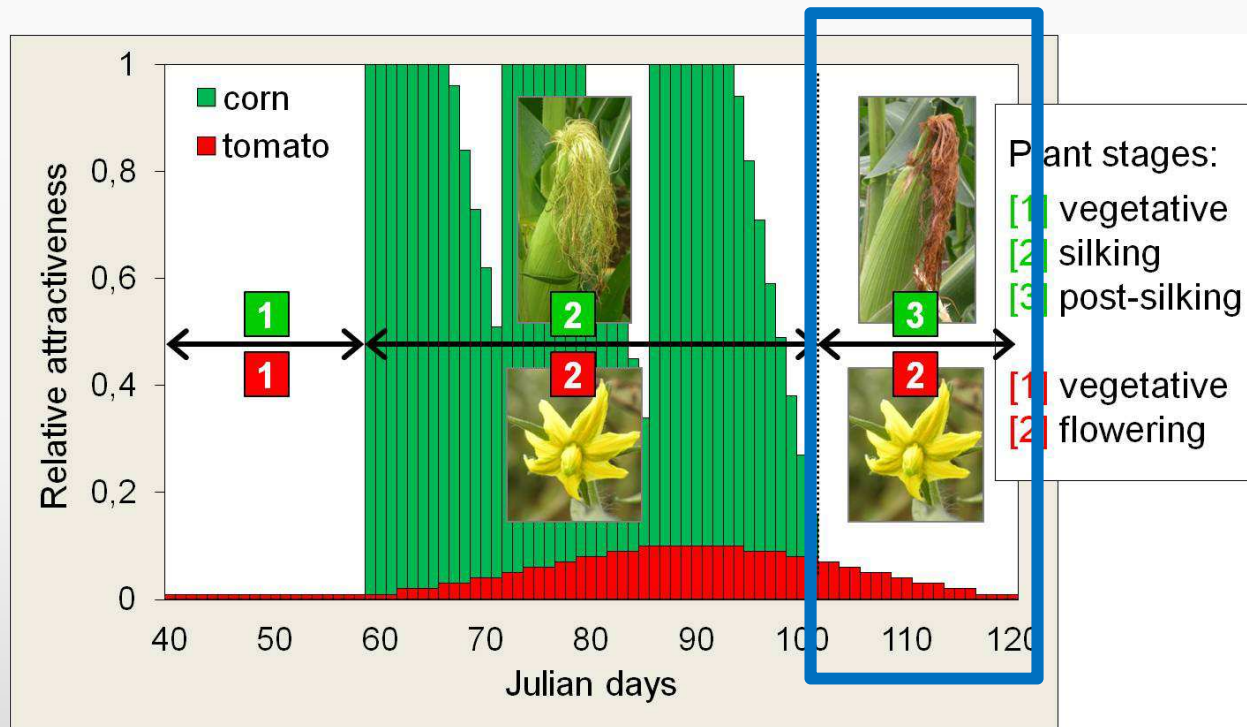


Fig.2. Dynamic of the relative attractiveness for TFW of tomato and corn plants.

Simulation example with three sequential dates of corn sowing and $\alpha_{T:C} = 0.10$.

[2] attractive stages.

→ période pendant laquelle il n'y a plus de maïs attractif alors que la tomate est toujours attractive : **ce dispositif de déploiement temporel du maïs n'est pas optimal**

SIMULATIONS & RÉSULTATS

- **Dynamique des populations de noctuelle sur la parcelle**

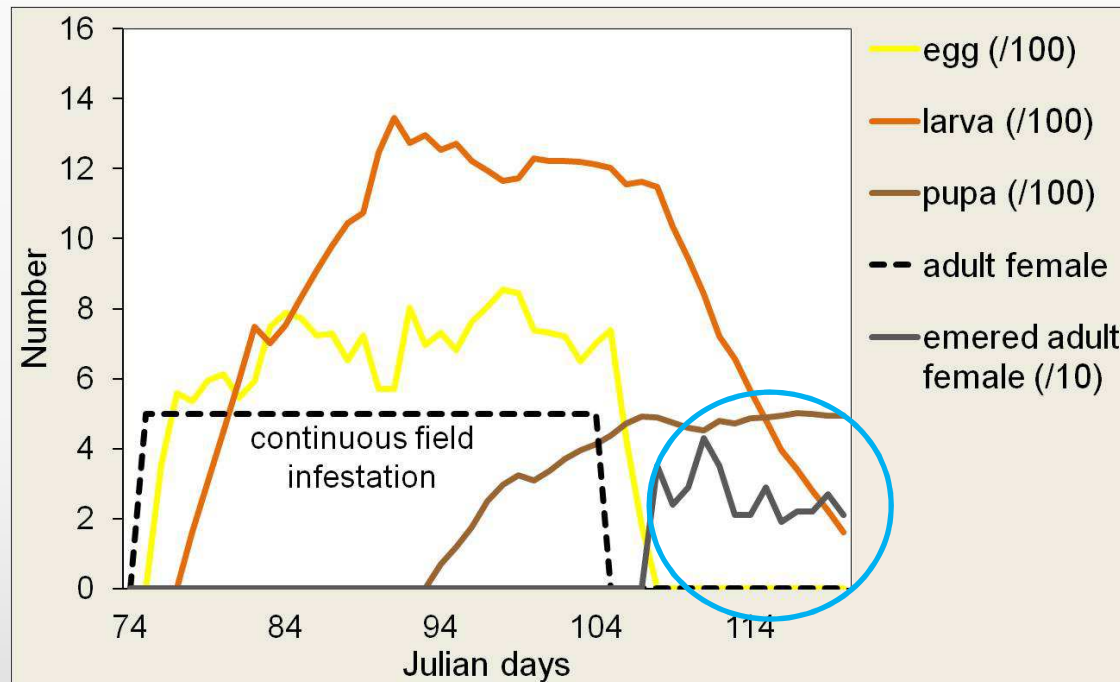


Fig.3 *Dynamic of the TFW life-stages in a field. Simulation for a 30-day field infestation with 5 adult females per day.*

→ prédiction des émergences de nouveaux adultes:
sources potentielles d'infestation

SIMULATIONS & RÉSULTATS

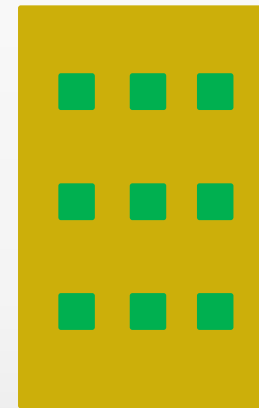
- Evaluation du niveau d'infestation des tomates en réponse
 - aux **modalités de déploiement spatial des plantes pièges** dans la parcelle:



bordure



interlignes



patches

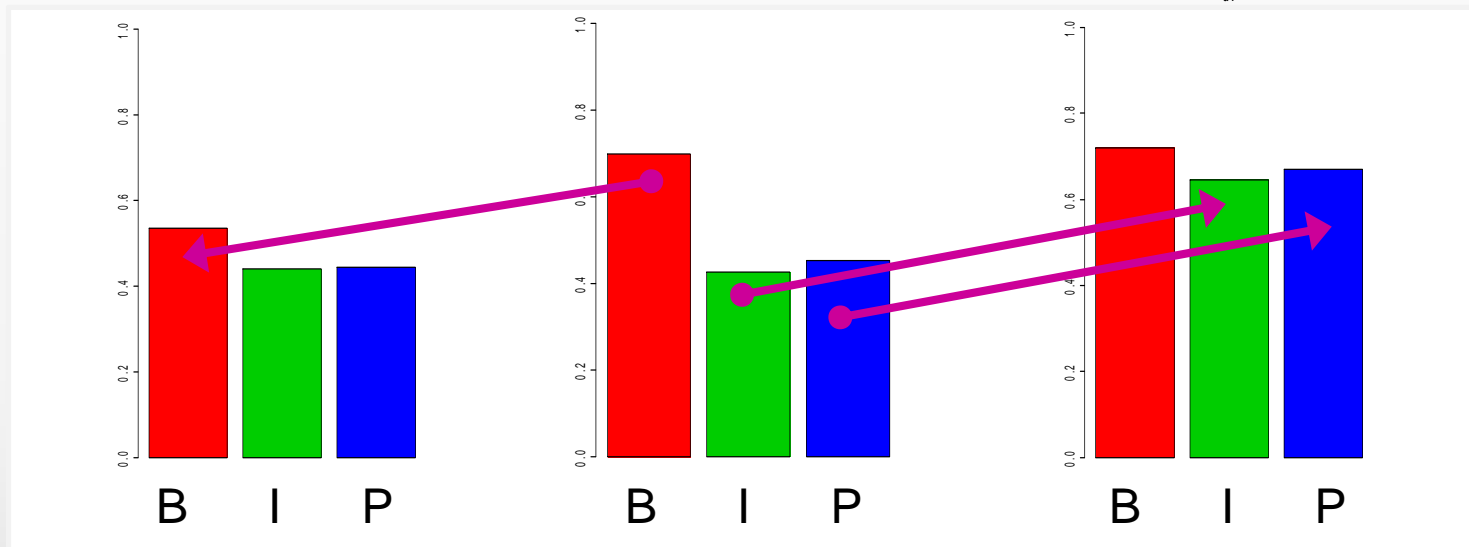
- aux **caractéristiques des plantes** (attractivité relative),
- aux **traits de comportement de l'insecte**.

→ définition de **patterns de réponses**

SIMULATIONS & RÉSULTATS

Niveau d'infestation des tomates pour 3 configurations de déploiement du maïs dans la parcelle (B=bordure; I=interlignes; P=patch):

Nb œufs moyen déposés par plante
/ Nb œufs moyen déposés par plant
sur la parcelle témoin sans maïs



- $\alpha_{T:C} = 0.10$
- perception distance = 15m

- $\alpha_{T:C} = 0.10$
- perception distance = 5m

- $\alpha_{T:C} = 0.25$
- perception distance = 5m

→ interactions entre les modes de déploiement de la plante piège et les caractéristiques des plantes (attractivité $\alpha_{T:C}$) et du bio-agresseur (distance de perception)

CONCLUSIONS

- **Un modèle en cours de développement**, à mettre à jour avec les connaissances actuelles et de nouveaux essais visant à **mieux caractériser les mécanismes de dispersion et de comportement de sélection des plantes par *H. zea*** :
→ *études comportementales en conditions semi-contrôlées, suivis d'individus au champ (radio-télémétrie, marquage/recapture?)*
- **Approche couplée** expérimentation & modélisation
- **Le modèle d'abord comme outil de recherche** pour aider à mieux comprendre le fonctionnement du système et définir des patterns de réponses des infestations selon les modalités de déploiement des plantes pièges...
... vers un **outil opérationnel** (après validation) pour faire des préconisations
- Un modèle **générique** et (\pm) transposable à d'autres systèmes
→ *possibilité de tester des traits comportementaux contrastés*

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

